

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
2005/2006 Academic Session  
*Peperiksaan Semester Kedua*  
*Sidang Akademik 2005/2006*

April/Mei 2006  
*April/Mei 2006*

**ESA 111E/3 – Introduction to Aerospace Engineering**  
*Pengenalan Kepada Kejuruteraan Aeroangkasa*

Duration : 3 hours  
*Masa : 3 jam*

---

**INSTRUCTION TO CANDIDATES :**  
**ARAHAN KEPADA CALON :**

Please ensure that this paper contains **TWELVE (12)** printed pages and **SEVEN (7)** questions before you begin examination.

*Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **DUA BELAS (12)** mukasurat dan **TUJUH (7)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan ini.*

Part A : Answer **TWO (2)** questions.

Part B : Answer **ALL** questions.

All questions carry the same marks.

*Bahagian A : Jawab **DUA (2)** soalan.*

*Bahagian B : Jawab **SEMUA** soalan.*

*Semua soalan membawa jumlah markah yang sama.*

Student may answer the questions either in English or Bahasa Malaysia or both combination.

*Soalan boleh dijawab dalam Bahasa Inggeris atau Bahasa Malaysia atau kombinasi keduanya.*

Each questions must begin from a new page.

*Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.*

**Part A : From 3 questions, choose 2 questions only.**

*Bahagian A : Dari 3 soalan, pilih 2 soalan sahaja.*

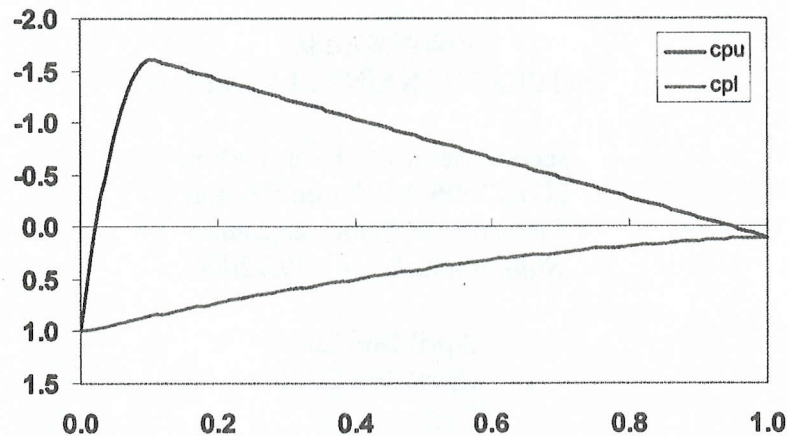


Figure 1:  $C_p$  vs.  $x$  – Pressure Coefficient Distribution

*Gambarajah 1:  $C_p$  vs.  $x$  – Pekali Taburan Tekanan*

1. (a) An airfoil is placed at an angle of attack equal to 3 degrees in a wind tunnel to measure the pressure distribution on the upper and lower surface of the airfoil. The chord length of the airfoil is 1 meter. From the measurement, calculate the normal force coefficient. The pressure coefficient distribution is plotted in a  $c_p$  vs.  $x$  graph as shown in Figure 1, and the equations representing the graph is as follows:

$$C_{p,u} = 1 - 50x + 240x^2 \quad 0 \leq x < 0.1$$

$$C_{p,u} = 1.9x - 1.8 \quad 0.1 \leq x < 1$$

$$C_{p,l} = 1 - 1.5x + 0.6x^2 \quad 0 \leq x \leq 1$$

*Sebuah aerofoil diletakkan pada sudut serang bersamaan dengan 3 darjah di dalam terowong angin untuk mengukur taburan tekanan pada permukaan atas dan bawah aerofoil tersebut. Aerofoil itu mempunyai rentangan "chord" sepanjang 1 meter. Berdasarkan kepada ukuran tersebut, kira pekali daya normal. Pekali taburan tekanan telah dilakukan di dalam graf  $c_p$  vs.  $x$  seperti di Gambarajah 1, dan persamaan-persamaan mewakili graf tersebut adalah seperti di bawah:*

$$C_{p,u} = 1 - 50x + 240x^2 \quad 0 \leq x < 0.1$$

$$C_{p,u} = 1.9x - 1.8 \quad 0.1 \leq x < 1$$

$$C_{p,l} = 1 - 1.5x + 0.6x^2 \quad 0 \leq x \leq 1$$

**(15 marks/markah)**

- (b) In the traditional way of calculating the aerodynamic forces, the lift and drag forces are more useful compared to the normal and axial forces. Using geometry, derive two expressions that relate  $L$  and  $D$  in terms of  $N$ ,  $A$ , and  $\alpha$  (the angle of attack). Then, calculate the value for the lift coefficient for a typical cruise angle of attack based on the normal force coefficient calculated in (a). Write your assumption to arrive at your answer.

*Di dalam tradisi mengira daya aerodinamik, daya angkat dan seret adalah lebih berguna berbanding daya normal dan axis. Dengan menggunakan geometri, terbitkan dua persamaan yang mengaitkan  $L$  dan  $D$  di dalam sebutan  $N$ ,  $A$ , dan  $\alpha$  (sudut serang). Kemudian, kira nilai untuk koefisien daya angkat untuk sudut serang terbang yang biasa berdasarkan koefisien daya normal di (a). Tuliskan anggapan kamu untuk mencapai jawapan tersebut.*

**(7 marks/markah)**

- (c) If that the graph in Figure 1 was obtained for an aircraft travelling at  $M = 0.13$ . Given that the angle of attack remains the same, what would be the lift coefficient if the Mach number was increased to  $M = 0.54$ ?

*Sekiranya graf di Gambarajah 1 adalah untuk kapal terbang yang terbang pada  $M = 0.13$ . Jika sudut serang kekal sama, berapakah pekali daya angkat sekiranya nombor Mach ditingkatkan kepada  $M = 0.54$ ?*

**(3 marks/markah)**



2.

A sailplane uses a NACA 23012 airfoil as the cross-section of a rectangular wing with a span effectiveness of 0.92. The wing surface area is  $10 \text{ m}^2$  and the weight of the sailplane (including the pilot) is 4500 N.

*Sebuah kapal terbang layar menggunakan NACA 23012 aerofoil sebagai keratan rentas sayap segiempat dengan keefektifan span bersamaan 0.92. Luas permukaan sayap adalah  $10 \text{ m}^2$  dan berat kapal terbang layar (termasuk berat juruterbang) adalah 4500 N.*

- (a) It was measured that at an angle of attack equal to 6 degrees, the wing lift coefficient is 0.72. Calculate the lift-coefficient slope for the airfoil and for the finite wing. Then, calculate the aspect ratio of the wing.

*Telah diukur bahawa pada sudut serang bersamaan 6 darjah, pekali daya angkat sayap tersebut adalah 0.72. Kira kecerunan pekali daya angkat untuk aerofoil dan juga untuk sayap itu. Kemudian, kira nisbah aspek sayap itu.*

**(7 marks/markah)**

- (b) Based on the calculation in (a), at what angle of attack must the sailplane flies at if the cruising speed is 100 km/h? Assume that the freestream temperature is 300 K and the freestream pressure is 100 kPa. Use  $R = 0.287 \text{ kJ/kg.K}$ .

*Berdasarkan kepada pengiraan di (a), pada sudut serang berapakah kapal terbang layar itu perlu terbang sekiranya halaju terbang adalah 100 km/h? Anggap bahawa suhu aliran bebas adalah 300 K dan tekanan aliran bebas adalah 100 kPa. Gunakan  $R = 0.287 \text{ kJ/kg.K}$ .*

**(8 marks/markah)**

- (c) Shown below in Figure 2 are two aircrafts with unconventional wing shapes. Explain in detail the flow phenomenon associated (including the type of drag produced) with finite wings. Explain also, for each wing of the two aircrafts, why it was designed that way.

*Di dalam Gambarajah 2 di bawah, ditunjukkan dua kapal terbang dengan rekabentuk sayap yang luarbiasa. Terangkan dengan terperinci fenomena aliran berkaitan (termasuk jenis daya seret yang terhasil) dengan sayap terhingga. Terangkan juga, untuk setiap sayap bagi dua kapal terbang tersebut, kenapa ia direkabentuk sedemikian rupa.*

**(10 marks/markah)**



Figure 2: Aircrafts with unconventional wing shape.

*Gambarajah 2: Kapal terbang – kapal terbang dengan rekabentuk sayap luarbiasa.*

3. Given that the pressure coefficient distribution across the top surface of an airfoil recorded from an experiment can be approximated by the following equation:

$$C_{p,u} = -0.762 \sin\left(\frac{10x}{3}\right) \quad (\text{unit of angle is in radian})$$

where  $x$  is the distance from the leading edge along the chord line ( $0 \leq x \leq 1$ ).

*Diberi bahawa pekali taburan tekanan merentasi permukaan atas sebuah aerofoil yang direkod dari satu eksperimen boleh dihampiri dengan persamaan berikut:*

$$C_{p,u} = -0.762 \sin\left(\frac{10x}{3}\right) \quad (\text{unit darjah adalah di dalam radian})$$

*di mana  $x$  adalah jarak dari hujung awal di sepanjang garisan chord ( $0 \leq x \leq 1$ ).*

- (a) Calculate the location of minimum pressure point on the chord and show that it is the point of minimum  $C_p$  value (by using first and second derivatives). Calculate also the  $C_p$  value at that point

*Kira lokasi titik tekanan minima pada chord dan tunjukkan lokasi itu mempunyai nilai  $C_p$  yang minima (dengan menggunakan pembezaan pertama dan kedua). Kira juga nilai  $C_p$  pada titik itu.*

(5 marks/markah)

- (b) If  $M_\infty = 0.61$  for the  $C_p$  value measured in (a), calculate the local Mach number at the minimum pressure point on the airfoil. Hint: use the compressible flow equation that relates the stagnation pressure, static pressure, and local Mach number at a point.

*Sekiranya  $M_\infty = 0.61$  untuk nilai  $C_p$  yang dikira di (a), kira nombor Mach lokal di titik tekanan minima pada aerofoil tersebut. Pembayang: gunakan persamaan aliran boleh-mampat yang mengaitkan tekanan genang, tekanan statik, dan nombor Mach setempat di sesuatu titik.*

(10 marks/markah)

- (c) Calculate the value of  $C_p$  at the minimum pressure point on the airfoil if the flow is incompressible.

*Kira nilai  $C_p$  di titik tekanan minima pada aerofoil itu sekiranya aliran itu tidak mampat.*

**(3 marks/markah)**

- (d) Draw the graph of  $C_p, u$  vs.  $x$  for the equation shown above. Then, show the location of minimum pressure on the graph. Describe what would happen to the local Mach number at that point if the freestream Mach number is increased above the critical Mach number. Draw a flow diagram if necessary.

*Lakar graf  $C_p, u$  vs.  $x$  untuk persamaan yang ditunjukkan di atas. Kemudian, tunjukkan lokasi tekanan minima di atas graf itu. Terangkan apa akan terjadi pada nombor Mach setempat di titik itu sekiranya nombor Mach aliran bebas dinaikkan melebihi nombor Mach kritikal. Lukis sebuah gambarajah aliran sekiranya perlu.*

**(7 marks/markah)**



**Part B : Please answer ALL questions**  
**Bahagian B : Sila jawab SEMUA soalan.**

4. Match the physical laws on the left with the best term or description on the right.

a) Newton's Second Law	i. Planetary orbits are ellipses
b) Newton's Third Law	ii. Gravity is the only force on a spacecraft
c) Newton's Law of Universal Gravitation	iii. Inertia
d) Kepler's Second Law	iv. Action/reaction
e) Kepler's Third Law	v. Relates orbital period to orbital size
	vi. A net force causes an acceleration
	vii. Equal areas in equal times
	viii. Spacecraft may be treated as point masses
	ix. Force is inversely proportional to the square of the distance

*Padankan undang-undang fizikal di bahagian kiri dengan keterangan terbaik tentangnya di bahagian kanan.*

a) Hukum Newton Kedua	i. Orbit planet berbentuk elips.
b) Hukum Newton Ketiga	ii. Graviti adalah daya tunggal yang bertindak ke atas kapal angkasa.
c) Hukum Newton terhadap Graviti Sejagat	iii. Inersia
d) Hukum Kepler Kedua	iv. Tindakan/Tindakbalas
e) Hukum Kepler Ketiga	v. Menghubungkan tempoh orbit kepada saiz orbit
	vi. Daya bersih menyebabkan pecutan
	vii. Keluasan yang sama pada jumlah masa yang sama
	viii. Kapal angkasa boleh dianggap sebagai titik jisim
	ix. Daya ialah berkadar songsang kepada kuasa dua jarak

**(7 marks/markah)**

5. Space Operations Officers at Russian Mission Control Center have given you this set of position ( $\vec{R}$ ) and velocity ( $\vec{V}$ ) vectors for its new satellite.

*Pegawai-pegawai di Pusat Kawalan Misi Angkasa Rusia telah memberikan anda satu set vektor posisi ( $\vec{R}$ ) dan halaju ( $\vec{V}$ ) bagi sebuah satelitnya yang terkini.*

$$\vec{R} = 7016\hat{I} + 5740\hat{J} + 638\hat{K} \text{ km}$$

$$\vec{V} = 0.24\hat{I} - 0.79\hat{J} - 7.11\hat{K} \text{ km/s}$$

- (a) Determine the size (semimajor axis) and shape (eccentricity) for the satellite's orbit.

*Tentukan saiz (paksi semimajor) dan bentuk (kesipian) untuk orbit satelit tersebut.*

**(6 marks/markah)**

- (b) Determine the inclination of the orbit

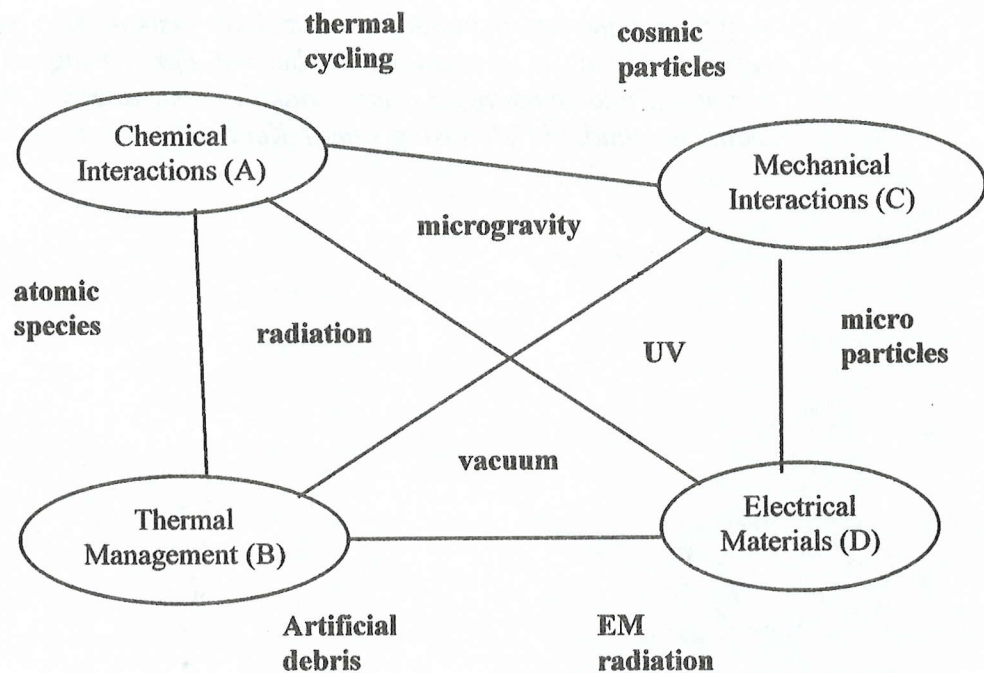
*Tentukan kecondongan orbit tersebut.*

**(4 marks/markah)**



6. Observe the diagram below which describe the synergetic interactions between the space environment factors and spacecraft systems and answer the following questions.

*Perhatikan gambarajah di bawah yang menerangkan sinergi interaksi di antara faktor-faktor persekitaran di angkasa dengan sistem kapal angkasa dan jawab soalan-soalan yang berikutnya:*



- (a) State the relationship between the atomic species and Ultra Violet rays towards (A) on a spacecraft.

*Berikan hubungan di antara spesis atomik dan radiasi Ultra Ungu di angkasa terhadap (A) pada kapal angkasa.*

**(5 marks/markah)**

- (b) Explain the effects of vacuum to (B) and describe the synergetic interaction between (B) → (C) that shall have to be taken due to this.

*Terangkan pengaruh vakum kepada (B) dan huraikan sinergi tindak balas (B) → (C) yang mungkin perlu di ambil disebabkan ini.*

**(5 marks/markah)**

- (c) A spacecraft is launched to a Low Earth Orbit at about 600 km altitude. However the spacecraft will always be in danger when it moves from the night time region to the day time (facing the sun) region in space. List the risks faced by this spacecraft during that time and describe how it happens. In your opinion, will a spacecraft in Geosynchronous orbit shall face the same risk? Why or why not?

*Sebuah kapal angkasa dilancarkan ke Orbit Rendah Bumi pada altitud lebih kurang 700km. Bagaimanapun, kapal angkasa ini akan sentiasa berada dalam bahaya apabila ia bergerak daripada kawasan malam ke kawasan siang (menghadap matahari). Senaraikan risiko-risiko yang dihadapi oleh kapal angkasa ini semasa waktu berikut dan terangkan bagaimana ianya berlaku. Pada pandangan anda, adakah kapal angkasa di orbit Geosegerak akan menghadapi risiko yang sama? Kenapa atau kenapa tidak?*

**(5 marks/markah)**



7. Use this mission scenario to answer the following questions:

ANGKASA (Malaysian Space Agency) launches its latest satellite through Falcon launch vehicle from, USA, on a mission to deploy spacecraft that will monitor the forest fire in South East Asia region. Once deployed, from the launcher's low parking orbit, an inertial upperstage (IUS) will boost the spacecraft into its transfer orbit and then to its final orbit. Once in place, it will monitor the forest fire in South East Asia region and relay the data to Malaysia Forest Service and other national and international agencies in South East Asia responsible for fighting forest fires. The information will then be communicated to users through the internet. The entire mission is controlled via a single, dedicated ground station. Assume that this satellite is actually part of a mission of six-satellite constellation to provide 24 hour notification to users. This is a low cost demonstration mission, about USD10 million for all spacecraft and 5 years of operation, to prove the usefulness of a space-based forest-fire system. Operations will be conducted from an existing ground station in National Mission Control Center, Sg. Lang, Banting, with mission data distributed to users through internet. Launches will be donated but must be "piggyback" opportunities on the new Falcon launch vehicle. These opportunities allow spacecraft designers to use spare launch capacity to place small spacecraft into 680 km altitude elliptical, sun-synchronous orbit. Launches are limited to "nanosatellites" up to 15kg in mass with dimensions of 0.30x0.30x0.30 m. Each launch can accommodate 3 nanosatellites and there will be 2 launch opportunities available beginning in two years. To satisfy mission sponsors, the mission must be operational within 3 years.

*Sila rujuk kepada senario misi di bawah dalam menjawab soalan-soalan berikut.*

ANGKASA (Pusat Angkasa Negara) melancarkan satelit terbarunya melalui pelancar Falcon daripada Amerika Syarikat, bagi misi untuk memantau kebakaran hutan di kawasan Asia Tenggara. Apabila tiba di orbit singgah, satu IUS akan menginjet satelit tersebut ke dalam orbit pindah dan kemudiannya ke orbit destinasi. Setelah itu, satelit tersebut akan memantau kebakaran hutan di kawasan Asia Tenggara, iaitu mengesan dan mencari lokasi kebakaran yang lebih daripada 4 hektar, dan menghantar data tersebut ke Jabatan Perhutanan Malaysia dan syarikat-syarikat dalam dan luar negara yang bertanggungjawab dalam mengawal kebakaran hutan. Maklumat tersebut kemudiannya akan disalurkan kepada masyarakat melalui internet. Keseluruhan misi adalah dikawal melalui satu stesen kawalan khas. Andaikan bahawa satelit tersebut adalah sebahagian daripada misi enam-konstelasi satelit yang menyalurkan maklumat kepada pengguna selama 24 jam tanpa henti. Ini adalah satu misi demonstrasi yang berkos rendah, lebih kurang USD10 juta untuk kesemua satelit dan beroperasi selama 5 tahun, untuk membuktikan faedah sistem kawalan pembakaran hutan berasaskan angkasa. Operasi akan dilakukan daripada stesyen kawalan utama di Pusat Misi Angkasa Negara, Sg. Lang, Banting, yang kemudiannya menyalurkan data misi kepada pengguna melalui internet. Semua pelancaran akan mendapat sumbangan tetapi mestilah yang berbentuk "piggyback" dalam pelancar Falcon. Cara ini membolehkan perekabentuk satelit untuk menggunakan kapasiti pelancaran yang selebihnya untuk menghantar satelit kecil ke dalam orbit eliptik, segerak matahari, beraltitud 680 km. Pelancaran adalah diperuntukkan untuk "nanosatelit" yang berjisim sehingga 15kg, dengan dimensi 0.30x0.30x0.30 m. Setiap pelancaran boleh memuatkan 3 nanosatelit dan akan ada 2 peluang pelancaran setahun. Untuk memenuhi permintaan penyumbang-penyumbang misi, misi ini hendaklah mula beroperasi sepenuhnya dalam masa tiga tahun.



- (a) List **three** possible mission constraints of the above mission scenario.

*Senaraikan tiga kekangan misi dalam scenario di atas.*

**(3 marks/markah)**

- (b) Before launching the satellite, a launch window needs to be determined. What needs to be considered in determining the launch window for this particular mission?

*Sebelum melancarkan satelit, tingkap pelancaran perlu ditentukan. Apakah yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan tingkap pelancaran untuk misi ini?*

**(3 marks/markah)**

- (c) List **two** payload requirements in order to satisfy the mission.

*Senaraikan dua keperluan bebanbayar dalam memastikan kejayaan misi tersebut.*

**(2 marks/markah)**

- (d) A propulsion system plays an important role in a spacecraft. List **three** of its functions and discuss whether such system is necessary for the nanosatellite in this mission.

*Sistem pendorong memainkan peranan penting dalam sebuah kapal angkasa. Senaraikan tiga daripada fungsi-fungsi ini, dan bincangkan secara ringkas sama ada sistem tersebut adalah diperlukan untuk nanosatelit dalam misi yang diberikan.*

**(4 marks/markah)**

- (e) The satellite at one point in its orbit has these orbital elements:

inclination =  $95^\circ$

right ascension of the ascending node =  $170^\circ$

argument of perigee =  $90^\circ$

true anomaly =  $130^\circ$

Sketch a picture of the orbit and mark the position of the satellite.

*Satelit tersebut pada satu masa dalam orbitnya mempunyai elemen orbit berikut:*

*kecondongan =  $95^\circ$*

*kenaikan kanan nod naik =  $170^\circ$*

*argumen perigee =  $90^\circ$*

*anomali benar =  $130^\circ$*

*Lakarkan orbit di atas dan tandakan posisi satelit tersebut dalam lakaran.*

**(4 marks/markah)**

- (f) State the advantage of this mission in using a sun-synchronous orbit.

*Nyatakan faedah menggunakan orbit segerak matahari dalam misi ini.*

**(2 marks/markah)**